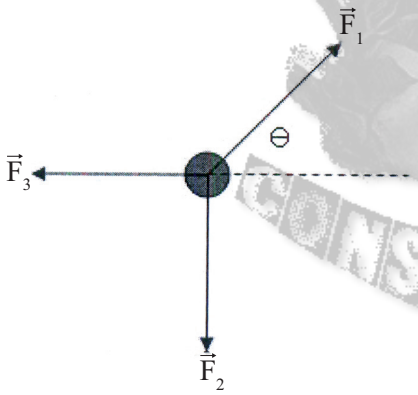
Aulas 22 e 23

ESTÁTICA

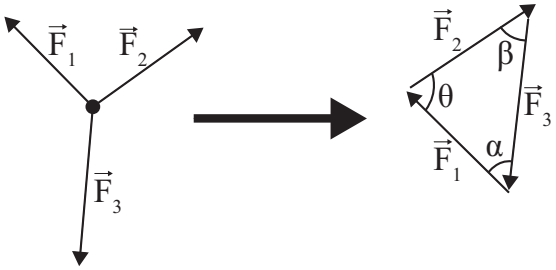
Estática: parte da mecânica que estuda as condições de equilíbrio de um ponto material (corpo de dimensões desprezíveis) ou de um corpo extenso (o tamanho influi no estudo do fenômeno).

Todas as figuras a seguir determinam um sistema estático, ou seja, todos os seus pontos encontram-se em equilíbrio estático.

Equilíbrio de um ponto material: se você tiver as forças $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_r$ agindo sobre um ponto material, para obter o equilíbrio você deve impor a condição de que a força resultante $\vec{F}_R$ seja nula, ou seja, $\vec{F}_R = \vec{O}$. Assim, no equilíbrio tem-se $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{O}$.



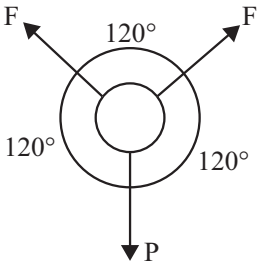
No método da linha poligonal, normalmente o ponto material está em **equilíbrio** sob a ação de três forças, que fecham um triângulo.



Pela Lei dos Senos, no triângulo acima, tem-se:
$F_2 / \text{sen}\alpha = F_1 / \text{sen}\beta = F_3 / \text{sen}\theta$

Teorema das Três Forças

Quando três forças coplanares de mesma intensidade equilibram um ponto material, elas formam entre si ângulos iguais a 120°, sendo obrigatoriamente concorrentes. Observe:



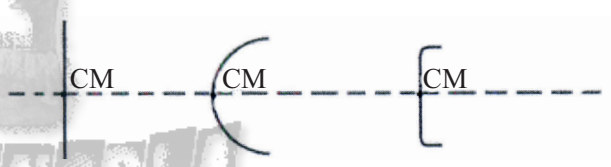
Equilíbrio dos corpos extensos

Centro de massa de um corpo extenso (dimensões não desprezíveis), rígido (não deformável) e homogêneo (massa uniformemente distribuída) – Um corpo extenso possui infinitos pontos materiais de mesma massa e pode-se representá-lo por meio de um único ponto material, o **centro de massa (CM)** do sistema.

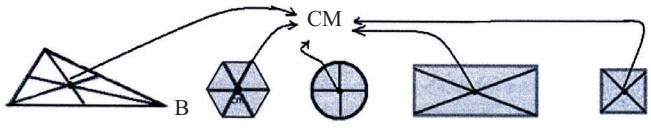
Centro de gravidade (CG) ou baricentro – Definido como sendo o ponto onde se concentra todo o peso do corpo.

Assim, se o corpo for homogêneo, o centro de gravidade (CG) coincide com o centro de massa (CM) do corpo e estão sobre o eixo (ou plano) de simetria.

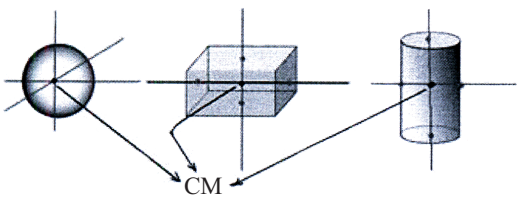
Corpos lineares (um eixo de simetria) – O centro de massa está sobre o eixo de simetria.



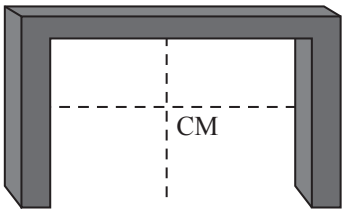
Corpos planos (mais de um eixo de simetria) – O centro de massa está no encontro desses eixos de simetria.



Corpos sólidos (mais de um eixo de simetria) – O centro de massa está no encontro desses eixos de simetria.



O centro de massa de um corpo rígido não se localiza obrigatoriamente dentro da sua parte sólida, como, por exemplo, na figura abaixo.



Cálculo do centro de massa de um corpo ou de um sistema de pontos materiais: considere três pontos materiais A, B e C de massas $\mathbf{m_A}$, $\mathbf{m_B}$ e $\mathbf{m_C}$ e de coordenadas cartesianas A (X_A, Y_A, Z_A), B (X_B, Y_B, Z_B) e C (X_C, Y_C, Z_C), o cálculo da posição das coordenadas de seu centro de massa é dado por:

$$\mathbf{X_{CM}} = (m_AX_A + m_BX_B + m_CX_C) / (m_A + m_B + m_C)$$

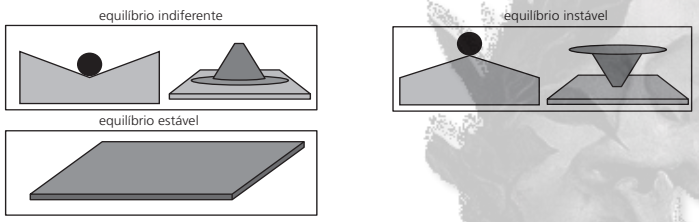
$$\mathbf{Y_{CM}} = (m_AY_A + m_BY_B + m_CY_C) / (m_A + m_B + m_C)$$

$$\mathbf{Z_{CM}} = (m_AZ_A + m_BZ_B + m_CZ_C) / (m_A + m_B + m_C)$$

Tipos de equilíbrio

Para se determinar se um corpo extenso está em equilíbrio, basta tirá-lo ligeiramente da posição de equilíbrio e, em seguida, abandoná-lo.

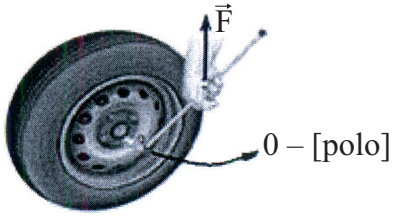
O equilíbrio será **estável** se ele retornar à posição inicial; se ele tender a se afastar da posição de equilíbrio, será **instável** e, se ele permanecer na nova posição, será **indiferente**.



Corpos apoiados ficam sob ação de duas forças verticais: seu peso, vertical e para baixo, e a reação normal do apoio, vertical e para cima. Essas duas forças devem ser colineares e, assim, a reta vertical que contém o centro de gravidade do corpo deve passar por sua base para que ele não caia.

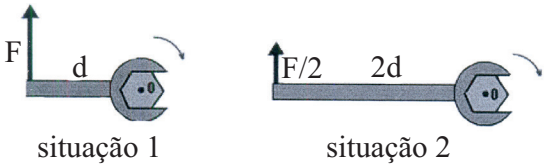
Estática de um corpo extenso – máquinas simples

Define-se momento (ou torque) de uma força de intensidade F aplicada num ponto P de uma barra, que pode girar livremente em torno de um ponto O (denominado polo) ao produto da intensidade dessa força F pela distância **d** do ponto de aplicação da força até o ponto O. Essa distância **d** é denominada de braço da força.



$$M = \pm F \cdot d$$

O sinal do momento da força pode ser negativo ou positivo e, por convenção, vamos adotar o sentido horário de rotação em torno de O como positivo e anti-horário como negativo.



Observe nas figuras acima que o momento M é o mesmo nas situações 1 e 2, mas que a situação 2 é mais conveniente, pois exige um força menor para girar o parafuso.

O – polo

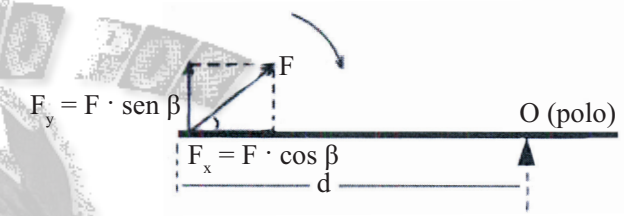
d – braço

No S.I. (Sistema Internacional de Unidades), o momento M é medido em newton × metro (N · m):

O que você deve saber

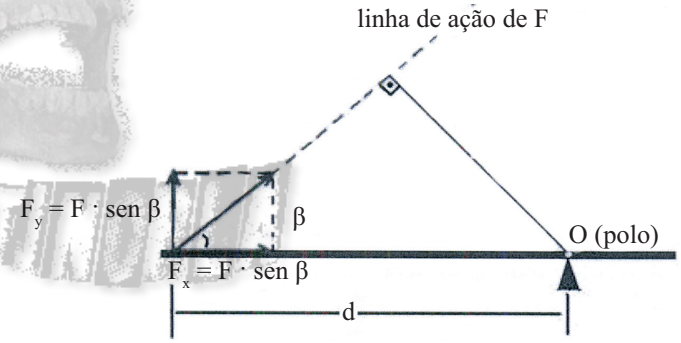
Se F for inclinada em relação a **d**, você pode calcular o **momento** da força por dois processos:

1°. Decompõe-se a força em suas componentes horizontal **x** e vertical **y**.



F_x não produz rotação e seu momento é nulo: quem produz rotação é apenas $F_y = F \text{ sen } \beta$; $M = F_y \cdot d$; $M = F \cdot d \cdot \text{sen } \beta$.

2°. O momento também pode ser calculado sendo o produto da distância **c** pela linha de ação da força, ou seja, você prolonga a força e **c** é a distância desse prolongamento até o polo O.



Observe que o ângulo entre **c** e a linha de ação da força deve ser de 90° – senβ = c/d – c = dsenβ – M = F · c – M = F · d senβ

Condições de equilíbrio de um corpo extenso

São duas as condições para que um corpo extenso rígido esteja em equilíbrio:

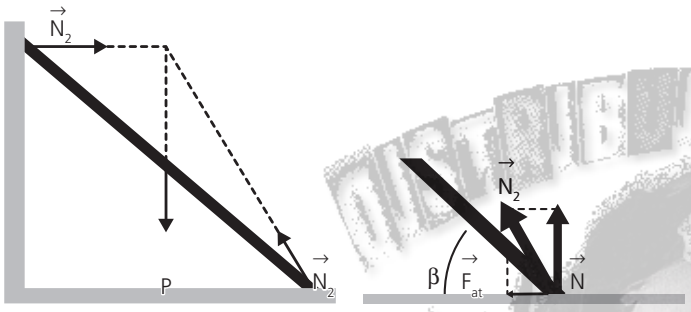
1ª. Equilíbrio de translação – A resultante do sistema de forças deve ser nula.

2ª. Equilíbrio de rotação – A soma algébrica dos momentos das forças que agem sobre o sistema, em relação a qualquer ponto (polo O), deve ser nula.

Resolvendo o sistema composto pelas duas equações acima você chega à resolução do exercício.

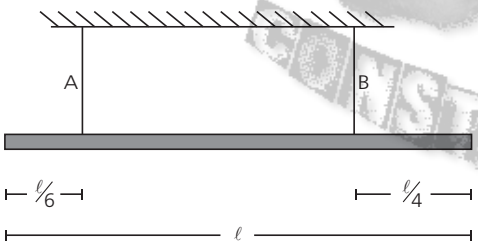
O que você deve saber

Considere uma escada rígida e homogênea MN, apoiada numa parede. Para que ela não escorregue e caia, no ponto N tem que ter atrito, o que não precisa ocorrer no ponto M. Suponha que a parede é lisa, ou seja, no ponto M não existe atrito. A figura a seguir mostra as três forças que agem sobre a escada que está em equilíbrio – $\vec{N}_1$ – força de contato com a parede – $\vec{N}_2$ – força que a escada troca com o chão – $\vec{P}$ – força peso (ponto médio da escada) – essas três forças obedecem ao Teorema das Três Forças de enunciado: "Se três forças agem sobre um corpo de modo a mantê-lo em equilíbrio, elas devem ser coplanares (mesmo plano) e concorrentes (seus prolongamentos devem se encontrar) num mesmo ponto (C)" – a força $\vec{N}_2$ que o chão troca com a escada pode ser decomposta em duas parcelas, uma foça normal $\vec{N}$ de intensidade N, de direção vertical e sentido para cima que deve anular a força peso (N = P) e uma força horizontal, força de atrito $\vec{F}_{at}$ que deve impedir que a escada escorregue – observe que, para que a escada permaneça em equilíbrio, quanto maior for o ângulo β que a escada forma com o chão, maior deverá ser a intensidade da força de atrito $\vec{F}_{at}$.



Exercíciosde Fixação

1. (AFA) Uma viga homogênea é suspensa horizontalmente por dois fios verticais, como mostra a figura a seguir.



A razão entre as trações nos fios A e B vale

a) $\frac{1}{2}$ c) $\frac{5}{6}$

b) $\frac{2}{3}$ d) $\frac{3}{4}$

2. (AFA) Uma balança está em equilíbrio, no ar, tendo bolinhas de ferro num prato e rolhas de cortiça no outro. Se esta balança for levada para o vácuo, pode-se afirmar que ela
   a) penderia para o lado das bolinhas de ferro, pois a densidade do mesmo é maior que a densidade da cortiça.
   b) não penderia para nenhum lado, porque o peso das bolinhas de ferro é igual ao peso das rolhas de cortiça.
   c) não penderia para nenhum lado, porque no vácuo não tem empuxo.
   d) penderia para o lado das rolhas de cortiça, pois enquanto estava no ar o empuxo sobre a cortiça é maior que o empuxo sobre o ferro.

3. (AFA) Considere uma prancha homogênea de peso P e comprimento L, que se encontra equilibrada horizontalmente em duas hastes A e B, como mostra a figura 1 a seguir.

Figura 1

Sobre a prancha, em uma posição x < L/2, é colocado um recipiente de massa desprezível e volume V, como mostrado na figura 2. Esse recipiente é preenchido lentamente com um líquido homogêneo de densidade constante até sua borda sem transbordar.

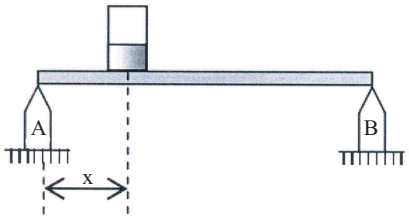
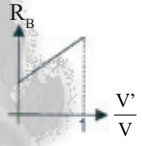
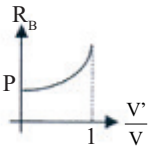
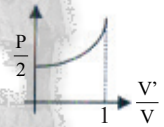


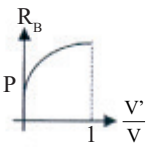
Figura 2

Nessas condições, o gráfico que melhor representa a intensidade da reação do apoio B, R_B, em função da razão entre o volume V' do líquido contido no recipiente pelo volume V do recipiente, V'/V, é

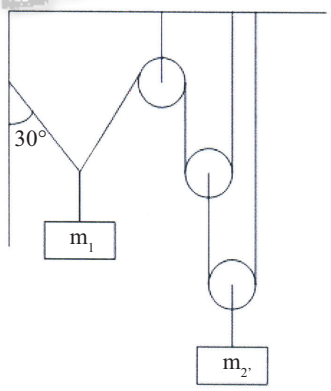
a)


c)


b)


d)


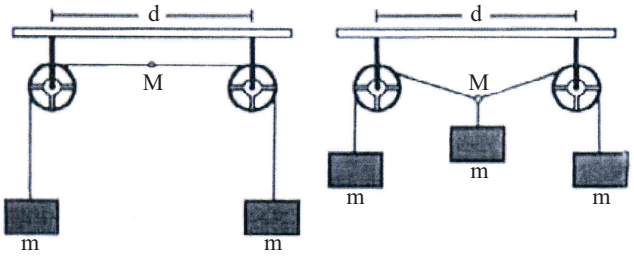
4. (AFA) Na figura a seguir, as polias e os fios são ideais. Se o sistema está em equilíbrio, pode-se afirmar que a razão $\frac{m_1}{m_2}$ é



a) $\frac{\sqrt{3}}{4}$ c) $\frac{\sqrt{3}}{2}$

b) $\frac{1}{4}$ d) $\frac{1}{2}$

5. (AFA) A figura a seguir apresenta dois corpos de massa **m** suspensos por fios ideais que passam por roldanas também ideais. Um terceiro corpo, também de massa **m**, é suspenso no ponto médio M do fio e baixado até a posição de equilíbrio.



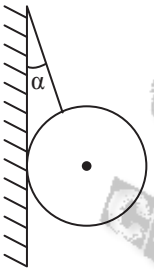
O afastamento do ponto M em relação à sua posição inicial é

a) $\frac{d\sqrt{3}}{6}$ c) $\frac{d\sqrt{3}}{4}$

b) $\frac{d\sqrt{3}}{3}$ d) $\frac{d\sqrt{3}}{2}$

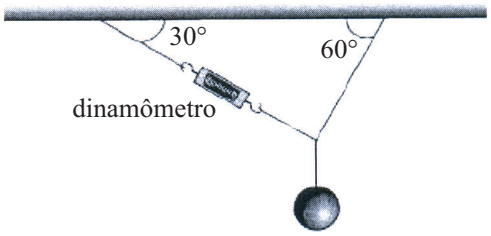
Exercícios Propostos

1. Na figura a seguir, uma esfera rígida se encontra em equilíbrio, apoiada em uma parede vertical e presa por um fio ideal e inextensível. Sendo P o peso da esfera e 2P a força máxima que o fio suporta antes de arrebentar, o ângulo formado entre a parede e o fio é de



a) 30°
b) 45°
c) 60°
d) 70°
e) 80°

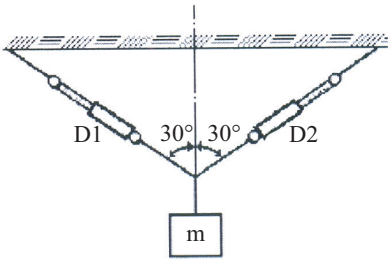
2. Um professor de física pendurou um pequena esfera, pelo seu centro de gravidade, ao teto da sala de aula, conforme figura a seguir.



Em um dos fios que sustentava a esfera ele acoplou um dinamômetro e verificou que, com o sistema em equilíbrio, ele marcava 10 N. Calcule o peso, em newtons, da esfera pendurada.

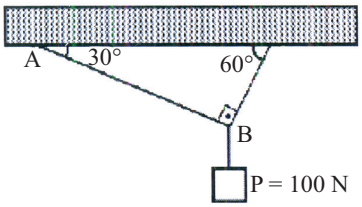
3. Sabendo-se que o sistema a seguir está em equilíbrio, qual é o valor da massa M quando os dinamômetros indicam 100 N cada um?

a) 17,32 kg
b) 20 kg
c) 10 kg
d) 100 N
e) 200 N

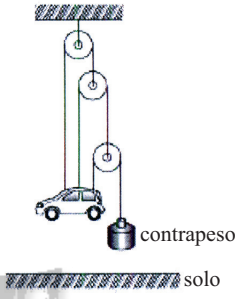


4. Na figura anterior, o corpo suspenso tem o peso 100 N. Os fios são ideais e têm pesos desprezíveis; o sistema está em equilíbrio estático (repouso). A tração na corda AB, em N, é

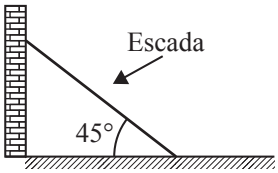
a) 20
b) 40
c) 50
d) 80
e) 100



5. Um mecânico afirma ao seu assistente que é possível erguer e manter um carro no alto e em equilíbrio estático, usando-se um contrapeso mais leve do que o carro. A figura mostra, fora de escala, o esquema sugerido pelo mecânico para obter o seu intento. Considerando as polias e os cabos como ideais e, ainda, os cabos convenientemente presos ao carro para que não haja movimento de rotação, determine a massa mínima do contrapeso e o valor da força que o cabo central exerce sobre o carro, com massa de 700 kg, quando esse se encontra suspenso e em equilíbrio estático.



6. (EsPCEx) Uma escada de madeira homogênea e uniforme, de 10 m de comprimento e peso P, está apoiada em um solo horizontal rugoso e em uma parede vertical perfeitamente lisa, formando um ângulo de 45° com o solo, conforme a figura a seguir:

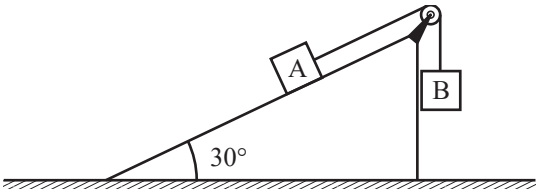


Sabendo que a escada está na iminência do movimento, o coeficiente de atrito estático entre ela e o solo vale:

Dado: sen 45° = cos 45° = $\frac{\sqrt{2}}{2}$

a) 0,9
b) 0,7
c) 0,6
d) 0,5
e) 0,3

7. (EsPCEx) Na figura a seguir, um bloco A de massa 3 kg está ligado a um bloco B de massa 2 kg através de um fio e polia e a resistência do ar é desprezível. Sabendo que o conjunto encontra-se em equilíbrio estático, podemos afirmar que o módulo da força de atrito entre o bloco A e o plano inclinado, em N, vale:

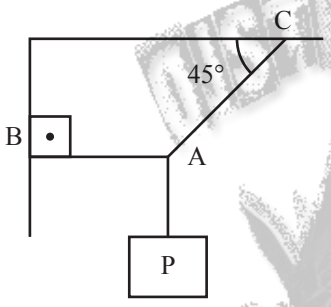


Dados: intensidade da aceleração da gravidade igual a 10 m/s², cos 30° = 0,9 e sen 30° = 0,5.

a) 2
b) 4
c) 5
d) 7
e) 8

8. (EsPCEx) Um corpo P de peso 80 N é sustentado por fios ideais e encontra-se em equilíbrio estático no vácuo, conforme a figura a seguir. Pode-se afirmar que a tensão no fio AB vale:

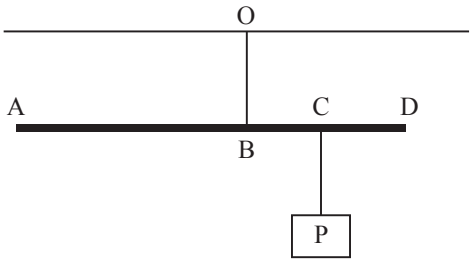
Dado: sen 45° = cos 45° = $\frac{\sqrt{2}}{2}$



Obs: desenho fora de escala

a) 80 N
b) $40\sqrt{2}$ N
c) 40 N
d) 20 N
e) $10\sqrt{2}$ N

9. (EsPCEx) Uma haste AD homogênea e rígida encontra-se em equilíbrio estático, na posição horizontal, sustentada pela corda ideal OB. No ponto C, que dista 5 m do ponto A, está pendurado um peso P, conforme o desenho a seguir.

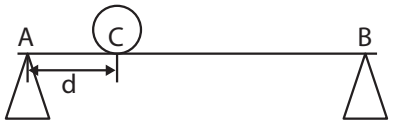


Obs.: desenho fora de escala

Sabendo que o peso da haste é igual a 4P, que o seu comprimento é igual a 6 m e que o sistema está no vácuo, podemos afirmar que a distância do ponto A ao ponto B vale:

a) 2,4 m
b) 2,5 m
c) 3,2 m
d) 3,4 m
e) 4,2 m

10. (EsPCEx) Uma barra rígida e homogênea, de massa desprezível, está na posição horizontal e apoiada sobre dois cones nos pontos A e B. A distância entre os pontos A e B é de 2,0 m. No ponto C, a uma distância d = 0,4 m do ponto A, encontra-se apoiada, em repouso, uma esfera homogênea de peso 80 N, conforme o desenho a seguir.

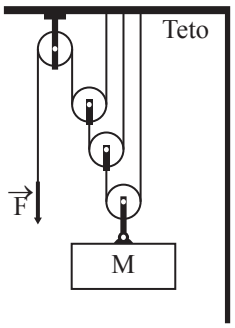


Podemos afirmar que, para que todo o sistema anterior esteja em equilíbrio estático, a força de reação do cone sobre a barra, no ponto B, é de

a) $2,5 \times 10^{-3}$ N
b) $1,0 \times 10^{-2}$ N
c) $1,6 \times 10$ N
d) $3,2 \times 10^{2}$ N
e) $4,0 \times 10^{2}$ N

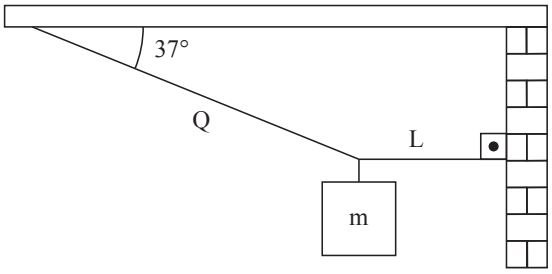
11. (EsPCEx) Um trabalhador utiliza um sistema de roldanas conectadas por cordas para elevar uma caixa de massa M = 60 kg. Aplicando uma força $\vec{F}$ sobre a ponta livre da corda conforme representado no desenho a seguir, ele mantém a caixa suspensa e em equilíbrio. Sabendo que as cordas e as roldanas são ideais e considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s², o módulo da força $\vec{F}$ vale

a) 10 N
b) 50 N
c) 75 N
d) 100 N
e) 150 N



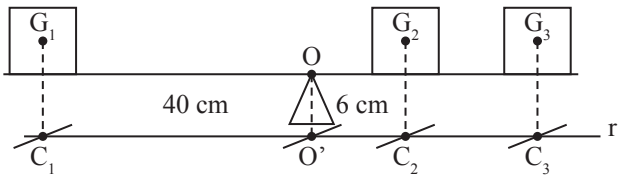
12. (EsPCEx) Um bloco de massa m = 24 kg é mantido suspenso em equilíbrio pelas cordas L e Q, inextensíveis e de massas desprezíveis, conforme figura a seguir. A corda L forma um ângulo de 90° com a parede e a corda Q forma um ângulo de 37° com o teto. Considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s², o valor da força de tração que a corda L exerce na parede é de:

Dados: cos 37° = 0,8 e sen 37° = 0,6



a) 144 N
b) 180 N
c) 192 N
d) 240 N
e) 320 N

13. (EsPCEx) Uma barra horizontal rígida e de peso desprezível está apoiada em uma base no ponto O. Ao longo da barra estão distriuidos três cubos homogêneos com pesos P_1, P_2 e P_3 e centros de massa G_1, G_2 e G_3 respectivamente. O desenho a seguir representa a posição dos cubos sobre a barra com o sistema em equilíbrio estático.



O cubo com centro de massa em G_2 possui peso igual a $4P_1$ e o cubo com centro de massa em G_3 possui peso igual a $2P_1$. A projeção ortogonal dos pontos G_1, G_2, G_3 e O sobre a reta **r** para elal à barra são respectivamente, os pontos C_1, C_2, C_3 e O'. A distância entre os pontos C_1 e O' é de 40 cm e a distância entre os pontos C_2 e O' é de 6 cm. Nesta situação, a distância entre os pontos O' e C_3 representados no desenho, é de:

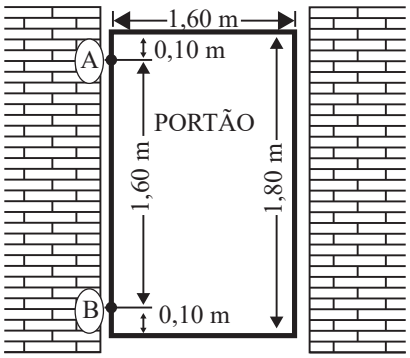
a) 6,5 cm
b) 7,5 cm
c) 8,0 cm
d) 12,0 cm
e) 15,5 cm

14. (EsPCEx) Consideramos que o planeta Marte possui um décimo da massa da Terra e um raio igual à metade do raio do nosso planeta. Se o módulo da força gravitacional sobre um astronauta na superfície da Terra é igual a 700 N, na superfície de Marte seria igual a:

a) 700 N
b) 280 N
c) 140 N
d) 70 N
e) 17,5 N

15. (EsPCEx) Um portão maciço e homogêneo de 1,60 m de largura e 1,80 m de comprimento, pesando 800 N está fixado em um muro por meio das dobradiças A, situada a 0,10 m abaixo do topo do portão, e B, situada a 0,10 m de sua parte inferior. A distância entre as dobradiças é de 1,60 m conforme o desenho a seguir. Elas têm peso e dimensões desprezíveis, e cada dobradiça suporta uma força cujo módulo da componente vertical é metade do peso do portão.
Considerando que o portão está em equilíbrio, e que o seu centro de gravidade está localizado em seu centro geométrico, o módulo da componente horizontal da força em cada dobradiça A e B vale, respectivamente:

a) 130 N e 135 N
b) 135 N e 135 N
c) 400 N e 400 N
d) 450 N e 450 N
e) 600 N e 650 N



GABARITOS

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

Aula 18: Estática do ponto material				
1	**2**	**3**	**4**	**5**
D	D	A	–	A

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Aula 18: Estática do ponto material									
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
C	*	A	C	*	D	C	A	D	C
11	**12**	**13**	**14**	**15**					
C	E	C	B	C					

***2:** 20 N
5: 100 kg

Anotações

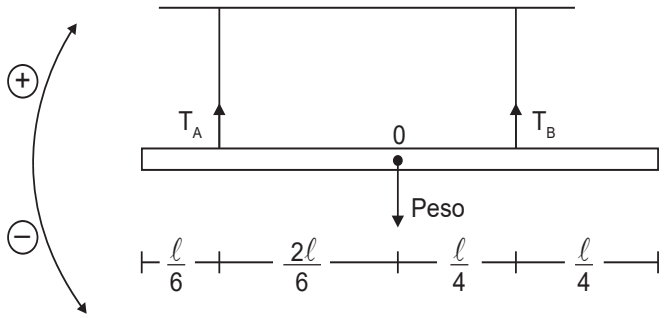
Resoluções

AULAS 22 E 23

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01.

i) Adotando o centro da barra (ponto 0) como polo (ponto o qual as forças giram livremente em torno) e desenhando as forças que atuam na barra, temos:



ii) Perceba que a barra está em equilíbrio translacional e rotacional. Como o ponto 0 foi adotado para ser o polo, implica que o peso, em relação ao ponto 0, não realiza torque, pois ele está localizado nesse ponto. Baseado nisso, podemos utilizar a equação do equilíbrio rotacional para encontrar o valor da razão T_A/T_B.

iii) A barra está em equilíbrio rotacional, logo o Torque ($\mathcal{T}$) resultante ela é zero. Baseado nisso e utilizando os sentidos adotados como positivo e negativo no passo i) para a rotação, temos que:

$$\mathcal{T} = T_A\left(\frac{2\ell}{6}\right) - T_B\left(\frac{\ell}{4}\right) \rightarrow 0 = T_A \cdot \left(\frac{2\ell}{6}\right) - T_B\left(\frac{\ell}{4}\right) \rightarrow$$

$$T_A \cdot \left(\frac{2\cancel{\ell}}{6}\right) = T_B\left(\frac{\cancel{\ell}}{4}\right) \rightarrow T_A\left(\frac{2}{6}\right) = T_B\left(\frac{1}{4}\right)$$

$$\rightarrow T_A\left(\frac{1}{3}\right) = T_B\left(\frac{1}{4}\right) \rightarrow \boxed{\frac{T_A}{T_B} = \frac{3}{4}}$$

Resposta: D

02.

i) Será visto nas aulas 24 e 25 (hidrostática) que, quando um corpo é imerso total ou parcialmente em um fluido, ele recebe do fluido uma força denominada empuxo. Tal força tem sempre direção vertical, sentido de baixo para cima e intensidade igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.

$$\boxed{E = P_{FLUIDO} = \mu_{FLUIDO} \cdot V_{CORPO} \cdot g}$$

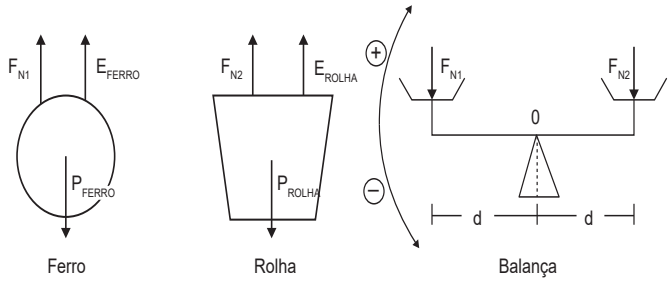
μ_{FLUIDO} = Massa específica do fluido

V_{CORPO} = Volume do corpo que está submerso no fluido

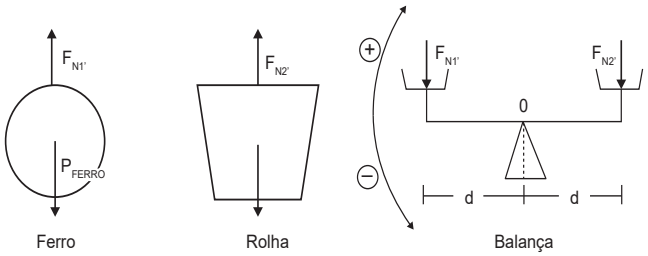
g = gravidade

ii) Baseado no passo i), podemos desenhar as forças que atuam nos corpos nas situações em que o ar está presente e em que o ar está ausente (vácuo).

- Ar está presente:



- Vácuo:



iii) Analisando o equilíbrio trnslacional e o equilíbrio rotacional na situação em que o Ar está presente, temos que:

- Equilíbrio Translacional (Ferro e Rolha):

$$\begin{cases} FN_1 + E_{ferro} = P_{ferro} \rightarrow \boxed{FN_1 = P_{ferro} - E_{ferro}} \\ FN_2 + E_{rolha} = P_{rolha} \rightarrow \boxed{FN_2 = P_{rolha} - E_{rolha}} \end{cases}$$

- Equilíbrio Rotacional (Balança):

$$\mathcal{T} = -FN_1 \cdot d + FN_2 \cdot d \rightarrow \mathcal{T} = 0 (\text{Equil brio Rotacional}) \rightarrow$$

$$\rightarrow 0 = -FN_1 \cdot d + FN_2 \cdot d \rightarrow FN_1 \cdot \cancel{d} = FN2 \cdot \cancel{d}$$

$$FN_1 = FN_2 \rightarrow P_{ferro} - E_{ferro} = P_{rolha} - E_{rolha} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} P_{ferro} = m_{ferro} \cdot g = \mu_{ferro} \cdot V_{ferro} \cdot g \\ \end{cases}$$

$$\rightarrow \mu_{ferro} \cdot V_{ferro} \cdot g - \mu AR \cdot V_{ferro} \cdot g =$$

$$= \mu_{rolha} \cdot V_{rolha} \cdot g - \mu AR \cdot V_{rolha} \cdot g$$

$$\rightarrow (\mu_{ferro} - \mu AR) V_{ferro} \cdot \cancel{g} = (V_{rolha} - \mu AR) V_{rolha} \cdot \cancel{g} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boxed{(\mu_{ferro} - \mu AR) V_{ferro} = (V_{rolha} - \mu AR) \cdot V_{rolha}}$$

iv) Perceba que o ferro é um material mais denso que a rolha, ou seja, μFerro > μRolha.
Baseado nisso, podemos dizer que μferro – μAR > μrolha – μAR. Portanto, para manter a igualdade (μferro – μAR) Vferro = (μrolha – μAR) Vrolha, é necessário que Vferro < Vrolha.

v) Baseado no passo ii), temos que Pferro – Eferro = Prolha – Erolha, ou seja, Pferro – μAR · Vferro · g = Prolha – μAR · Vrolha · g e isso é equivalente a μAR · Vrolha · g – μAR · Vferro · g = Prolha – Pferro. Utilizando o resultado Vferro < Vrolha (passo iv), é possível concluir que μAR · Vferro · g < μAR · Vrolha · g, ou seja, μAR · Vrolha · g – μAR · Vferro > 0.

Portanto, baseado nisso, é possível concluir que Prolha – Pferro > 0, pois μAR · Vrolha · g – μAR · Vferro · g = Prolha – Pferro. Logo, temos que Prolha > Pferro, ou seja, a rolha de cortiça possui uma força peso maior que a força peso do ferro.

vi) Analisando o equilíbrio translacional na situação em que o ar não está presente, ou seja, a situação de vácuo. Logo temos que FN1 = Pferro e FN2 = Prolha.

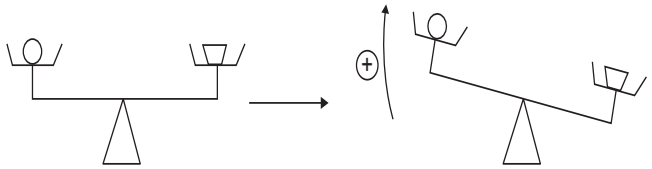
vii) Utilizando os sentidos adotados como positivo e negativo no passo ii) para a rotação da balança, podemos analisar o torque ($\mathcal{C}$ ') resultante na balança e definir se ela irá ou não irá perder para algum lado.

$T' = -FN1' \cdot d + FN2' \cdot d \rightarrow T' = -(Pferro) \cdot d + (Prolha) \cdot d$

$$\boxed{T' = (P_{rolha} - P_{ferro} \cdot d}$$

viii) Baseado no passo vi, temos que Prolha > PFerro, ou seja, $P_{rolha} - P_{ferro} > 0$. Portanto, é possível concluir que, T' > 0.

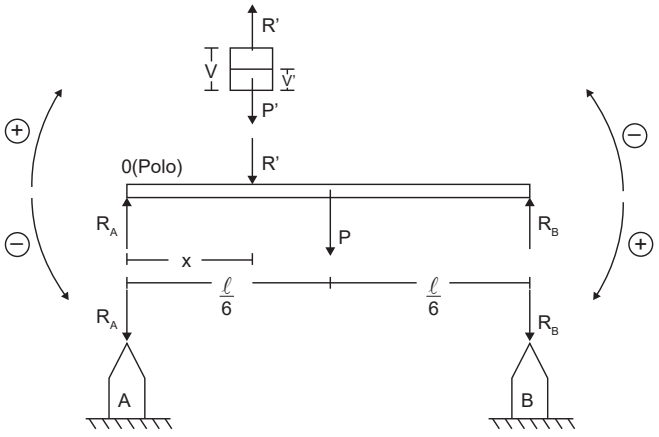
ix) Baseado no passo viii) e analisando os sentidos adotados como positivo e negativo no passo ii) para a rotação da balança, é possível concluir que a balança sofrerá uma rotação no sentido horário, ou seja, penderá para o lado das rolhas de cortiça, pois T' > 0.



Resposta: D

03.

i) Utilizando as informações fornecidas pelo enunciado e desenhando as forças que atuam nos corpos, temos que:



ii) Perceba que o recipiente está em equilíbrio translacional, logo é possível afirmar que R' – P'

iii) De acordo com o enunciado, o recipiente é preenchido com um líquido homogêneo de densidade constante. Baseado nisso, podemos encontrar o valor da massa de líquido presente no recipiente, pois

$$\boxed{\text{densidade do líquido}(\mu) = \frac{\text{massa de líquido}(m)}{\text{volume de líquido}(v')}}$$, ou seja,

$$\boxed{m = \mu \cdot v'}$$

iv) Baseado no passo iii), podemos afirmar que P' = m · g, ou seja, $\boxed{P' = \mu \cdot v' \cdot g}$

v) Perceba que a barra está em equilíbrio rotacional, ou seja, o torque ($\mathcal{C}$) resultante nela é zero. Baseado nisso e utilizando os sentidos adotados como positivo e negativo no passo i') para a rotação da barra, temos:

$$T = R'x + \left(\frac{\ell}{2}\right) - RB \cdot \ell \rightarrow R' = P' = \mu v' g \rightarrow$$

$$T = (\mu g x)v' + \frac{P\ell}{2} - RB \cdot \ell \rightarrow T = 0 \text{ (Equilíbrio Rotacional)}$$

$$\rightarrow 0 = (\mu g x)v' + \frac{P\ell}{2} - RB \cdot \ell \rightarrow RB \cdot \ell = (\mu g x)v' + \frac{P\ell}{2} \rightarrow$$

$$\boxed{RB = \left(\frac{\mu g x}{\ell}\right)v' + \frac{P}{2}}$$ RB em função de v'

vi) Por meio de algebrismo matemático e utilizando a função obtida no passo v), é possível deixar RB em função de v'/v.

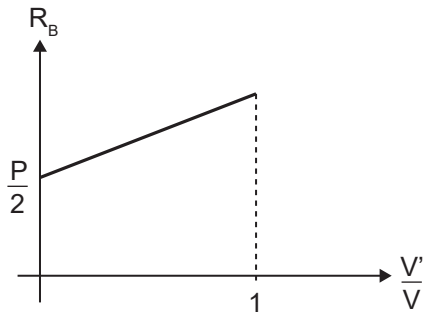
$$RB = \left(\frac{\mu g x}{\ell}\right)v' + \frac{P}{2} \rightarrow$$

$$RB = \left(\frac{v}{v}\right)\left(\frac{\mu g x}{\ell}\right)v' + \frac{P}{2} \rightarrow \boxed{RB = \left(\frac{\mu g v x}{\ell}\right)\left(\frac{v'}{v}\right) + \frac{P}{2}}$$

vii) Perceba que μ, g, v, x, ℓ e P não variam, ou seja, são constantes. Portanto, se chamarmos $\frac{\mu v x}{\ell}$ de A e $\frac{P}{2}$ de B, temos $\boxed{RB = A\left(\frac{v'}{v}\right) + B}$, em que A e B são constantes. Logo é possível concluir que RB em função da razão v'/v é uma função linear.

viii) Observe que $0 \leq v' \leq v$, logo quando v' = 0, temos que $\frac{v'}{v} = 0$ e $RB = B = \frac{P}{2}$.

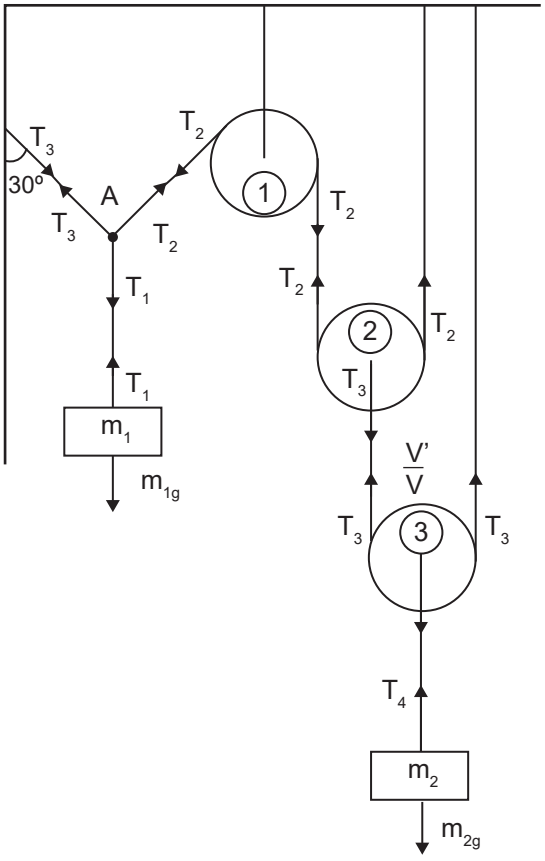
Portanto, baseado nisso e no passo vii), é possível desenhar o seguinte gráfico:



Resposta: A

04.

i) Desenhando as forças que atuam no sistema, temos:



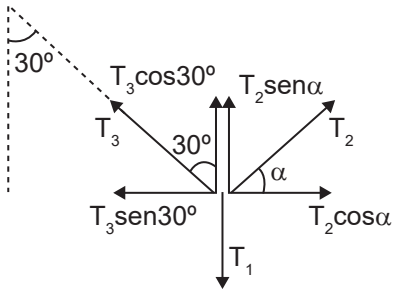
Observe que o sistema está em equilíbrio, logo temos que:

$$\begin{cases} 2T_2 = T_3 \ (1) \\ 2T_3 = T_4 \ (2) \\ T_4 = m_{2g} \ (3) \end{cases}$$

- Substituindo (1) em (2) e (3) em (2):
  $2T3 = T4 \rightarrow 2(2T2) = m2g$

$$\rightarrow \boxed{4T2 = m2g} \ (4)$$

ii) Analisando o equilíbrio no ponto A



$$\begin{cases} T_3\cos 30^\circ + T_2\operatorname{sen}\alpha = T1 \\ T_3\operatorname{sen}30^\circ = T_2\cos\alpha \end{cases} \rightarrow \begin{cases} T_3\cos 30^\circ + T_2\operatorname{sen}\alpha = T_1 \ (5) \\ T_3 = T_2\left(\dfrac{\cos\alpha}{\operatorname{sen}30^\circ}\right) (6) \end{cases}$$

iii) Substituindo (5) em (6):

$T3\cos 30^\circ + T2\operatorname{sen}\pm = T1 \rightarrow$

$$\rightarrow T2\left(\frac{\cos\alpha}{\operatorname{sen}30^\circ}\right)\cos 30^\circ + T2\operatorname{sen}\alpha = T1 \rightarrow$$

$$\rightarrow T2\left[\left(\frac{\cos 30^\circ}{\operatorname{sen}30^\circ}\right)\cos\alpha + \operatorname{sen}\alpha\right] = T1 \quad \left(\frac{\cos 30^\circ}{\operatorname{sen}30^\circ} = \operatorname{cotg}30^\circ\right)$$

$$\rightarrow \boxed{T2(\operatorname{cotg}30^\circ\cos\alpha + \operatorname{sen}\alpha) = T1} \ (7)$$

iv) Analisando o equilíbrio presente na massa 1, concluimos que $\boxed{T1 = m1g}$. Logo, substituindo esse resultado na expressão (7), temos:

$T2(\operatorname{cotg}30^\circ\cos\alpha + \operatorname{sen}\alpha) = T1 \rightarrow$

$$\boxed{T2(\operatorname{cotg}30^\circ\cos\alpha + \operatorname{sen}\alpha) = m1g} \quad (8)$$

v) Utilizando as expressões (4) e (8) é possível obter o valor de $\frac{m1}{m2}$, logo:

$$4T2 = m2g \rightarrow T2 = \frac{m2g}{4} \rightarrow$$

$$\frac{m2\not{g}}{4}(\operatorname{cotg}30^\circ\cos\alpha + \operatorname{sen}\alpha) = m1\not{g}$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{m1}{m2} = \frac{1}{4}(\operatorname{cotg}30^\circ\cos\alpha + \operatorname{sen}\alpha)}$$

O enunciado não fornece dados suficientes para obter o calor de α e, consequentemente o calor da razão $\frac{m1}{m2}$. Portanto, a questão não apresenta uma resposta correta.

Supondo que a corda que possui a tração de intensidade T3 é a mesma corda que possui a tração de intensidade T2, é possível concluir que T3 = T2. Baseado nisso e utilizando a equação (6), é possível concluir que:

$$T3 = T2\left(\frac{\cos\alpha}{\operatorname{sen}30^\circ}\right) \rightarrow \not{T2} = \not{T2}\left(\frac{\cos\alpha}{\operatorname{sen}30^\circ}\right) \rightarrow$$

$$1 = \frac{\cos\alpha}{\operatorname{sen}30^\circ} \rightarrow \cos\alpha = \operatorname{sen}30^\circ = \cos 60^\circ \rightarrow$$

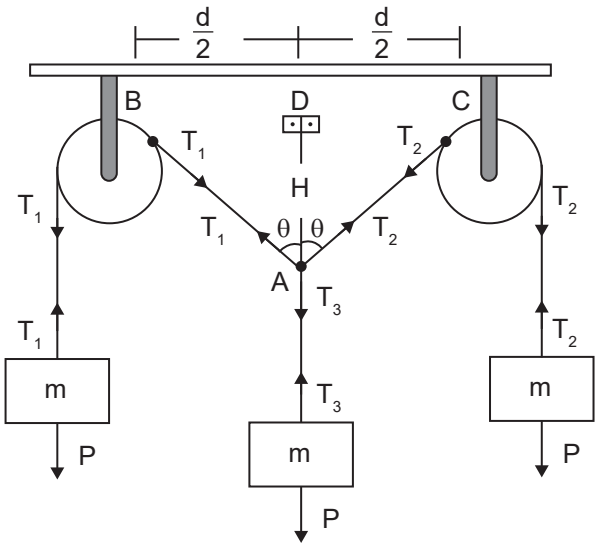
$$\rightarrow \boxed{\alpha = 60^\circ}$$

Utilizando esse suposto valor de α, obtemos que $\frac{m1}{m2} = \frac{1}{4}\left(\sqrt{3}\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$, ou seja, teríamos que $\frac{m1}{m2} = \frac{\sqrt{3}}{4}$ e isso resultaria como resposta correta a letra A, mas o enunciado deveria fornecer informações suficientes para ser possível chegar nessa conclusão.

Resposta: considerando que T2 = T3, letra A. Sem considerar, não há resposta correta.

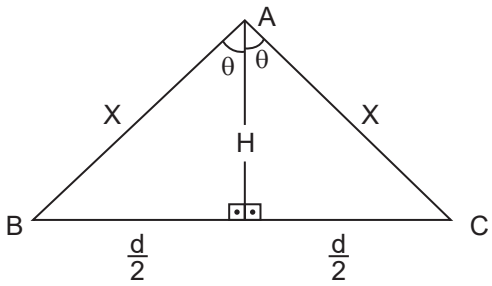
05.

i) Após a adição do terceiro corpo de massa **m**, o sistema atingirá o equilíbrio. Baseado nisso, poderemos desenhar as forças que atuam no sistema no equilíbrio.



ii) Analisando o equilíbrio das massas **m**, é possível concluir que T1 = T2 = T3 = P (1)

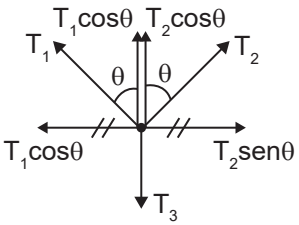
iii) Analisando o triângulo ABC, é possível concluir que $\overset{\frown}{AB} = \overline{AC}$. Chamando $\overline{AB} = \overline{AC} = X$ e utilizando o teorema de Pitágoras, é possível encontrar o valor de **x** e, com esse valor, encontrar o calor do $\cos\theta$.



- $x^2 = H^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rightarrow \boxed{x = \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}}$

- $\cos\theta = \frac{H}{x} \rightarrow \boxed{\cos\theta = \frac{H}{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}}}$

iv) Analisando o equilíbrio no ponto A:



$T1\cos\theta + T2\cos\theta = T3 \xrightarrow{(1)} \cancel{P}\cos\theta + \cancel{P}\cos\theta = \cancel{P} \rightarrow$

$$2\cos\theta = 1 \rightarrow 2\left(\frac{H}{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}}\right) = 1$$

$$\rightarrow 4H^2 = H^2 + \frac{d^2}{4} \rightarrow 3H^2 = \frac{d^2}{4} \rightarrow$$

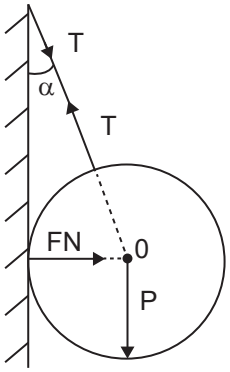
$$\rightarrow H = \frac{d}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \rightarrow \boxed{H = \frac{d\sqrt{3}}{6}}$$

Resposta: A

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

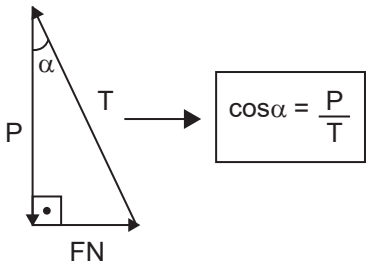
01.

i) Desenhando as forças que atuam na esfera rígida, temos:



ii) Perceba que as forças que atuam na esfera possuem direção passando pelo centro 0 da esfera, ou seja, as forças estão atuando nesse ponto para manter a esfera em equilíbrio. Baseado nisso, podemos utilizar o método da linha poligonal e organizar as três forças que atuam na esfera de tal maneira que elas fecham um triângulo.

iii) Utilizando a figura do passo i) e o que foi fornecido no passo ii), temos:



iv) De acordo com o enunciado, T = 2P, logo:

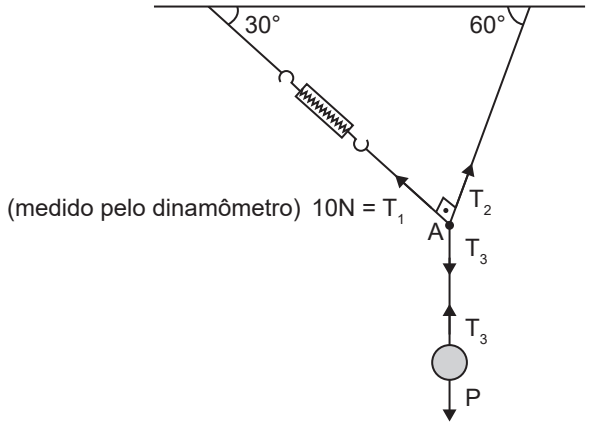
$$\cos\alpha = \frac{P}{T} = \frac{\cancel{P}}{2\cancel{P}} \rightarrow \boxed{\cos\alpha = \frac{1}{2}}$$

v) É conhecido que $\boxed{\cos 60^\circ = \frac{1}{2}}$, logo é possível concluir que $\alpha = 60^\circ$

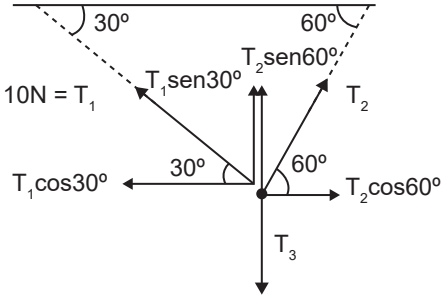
Resposta: C

02.

i) Utilizando as informações que foram fornecidas, é possível desenhar as forças que atuam no sistema, logo temos que:



ii) Analisando o equilíbrio no ponto A:



$$\text{"}\ T1\cos 30^\circ = T2\cos 60^\circ \rightarrow 10\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} = T2\cdot\frac{1}{2} \rightarrow \boxed{T2 = 10\sqrt{3}\,N}$$

$$\text{"}\ T1\operatorname{sen}30^\circ + T2\operatorname{sen}60^\circ = T3 \rightarrow 10\times\frac{1}{2} + \left(10\sqrt{3}\right)\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} = T3$$

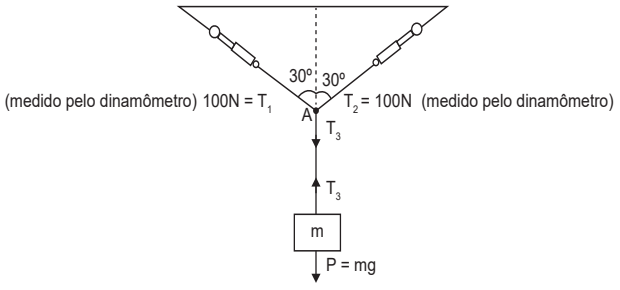
$$\rightarrow 5 + 5\cdot 3 = T3 \rightarrow \boxed{T3 = 20\,N}$$

iii) Analisando as forças que equilibram a esfera, é possível concluir que T3=P=20N, ou seja, o peso, em newtons, da esfera é 20 N.

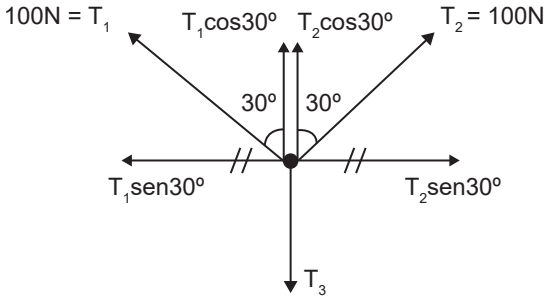
Resposta: O peso da esfera é 20 N

03.

i) Utilizando a figura e os valores fornecidos pelo enunciado, temos a seguinte situação de equilíbrio:



ii) Analisando o equilíbrio no ponto A, temos:



$$\text{"}\ T1\cos 30^\circ + T2\cos 30^\circ = T3 \rightarrow T1 = T2 = 100\,N$$

$$\rightarrow 100\cos 30^\circ + 100\cos 30^\circ = T3 \rightarrow T3 = 200\cos 30^\circ$$

$$\rightarrow \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \rightarrow \boxed{T3 = 100\sqrt{3}\ N}$$

iii) Analisando o equilíbrio na massa **m**, temos que:

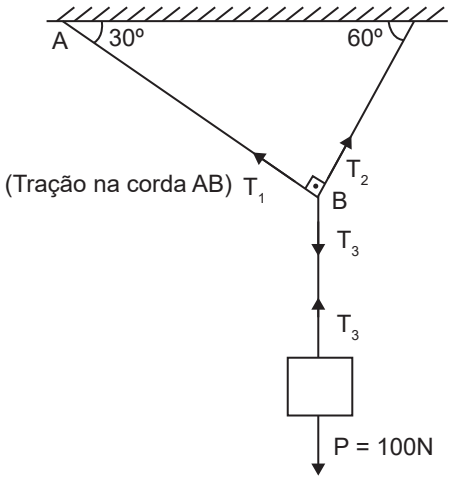
$$T3 = mg \rightarrow \begin{cases} T3 = 100\sqrt{3} \rightarrow 10\cancel{0}\sqrt{3} = m\cdot 1\cancel{0} \rightarrow \boxed{m = 10\sqrt{3}\ kg} \\ g = 10 \end{cases}$$

iv) Utilizando que $\sqrt{3} \approx 1{,}732$, obtemos que $\boxed{m = 17{,}32\ kg}$

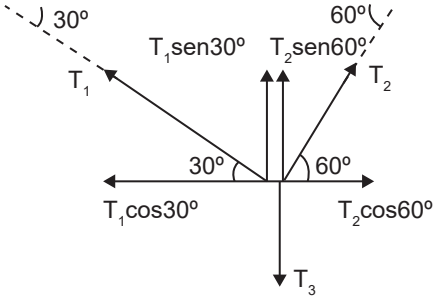
Resposta: A

04.

i) Utilizando a figura e os valores fornecidos pelo enunciado, temos a seguinte situação de equilíbrio:



ii) Analisando o equilíbrio no ponto B, temos:



$$\text{"}\ T1\cos 30^\circ = T2\cos 60^\circ \rightarrow T1\frac{\sqrt{3}}{2} = T2\cdot\frac{1}{2} \rightarrow \boxed{T2 = T1\sqrt{3}}$$

$$\text{"}\ T1\operatorname{sen}30^\circ + T2\operatorname{sen}60^\circ = T3 \rightarrow T1\cdot\frac{1}{2} + T2\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} = T3$$

$$\rightarrow T1\cdot\frac{1}{2} + \left(T1\sqrt{3}\right)\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} = T3 \rightarrow T1\cdot\frac{1}{2} + T1\cdot\frac{3}{2} = T3 \rightarrow \boxed{T3 = 2T1}$$

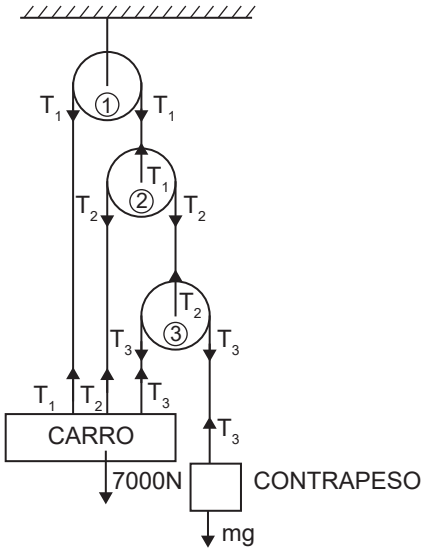
iii) Analisando o euilíbrio no corpo suspenso, temos que:

$$T3 = P \rightarrow \begin{cases} T3 = 2T1 \rightarrow 2T1 = 100\ N \rightarrow \boxed{T1 = 50N} \\ P = 100\ N \end{cases}$$ Tração na corda AB

Resposta: C

05.

i) Baseado no desenho fornecido pelo enunciado e utilizando os valores fornecidos pelo enunciado, temos a seguinte situação de equilíbrio estático:



ii) Analisando o equilíbrio nas polias (1) e (2), temos que:

$$\begin{cases} T1 = 2T2 \\ T2 = 2T3 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} T1 = 4T3 \quad (1) \\ T2 = 2T3 \quad (2) \end{cases}$$

iii) Substituindo as expressões (1) e 2) no equilíbrio do carro, temos:

$$T1 + T2 + T3 = 7000N \rightarrow 4T3 + 2T3 + T3 = 7000\ N \rightarrow$$

$$FT3 = 7000\ N \rightarrow \boxed{T3 = 1000\ N}$$

iv) Observe que a tração do cabo central possui intensidade T2, logo, utilizando a expressão (2), é possível obter o valor de T2, ou seja, $\boxed{T2 = 2000\ N}$

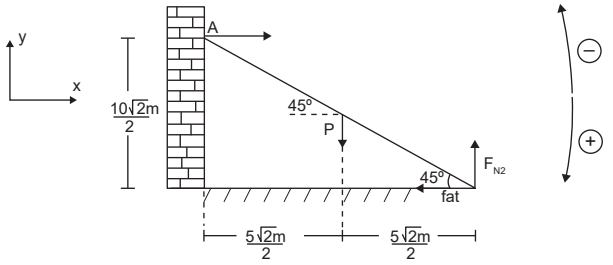
v) Analisando o equilíbrio no contrapeso:

$$T3 = mg \rightarrow \begin{cases} T3 = 1000\ N \rightarrow 1000 = m\cdot 10 \rightarrow \boxed{m = 100\ kg} \\ g = 10 m/s^2 \end{cases}$$

Resposta: A tração no cabo central é 2000 N e a massa mínima é 100 kg.

06.

i) Utilizando as informações fornecidas pelo enunciado e desenhando as forças que atuam na escada, temos:



ii) Analisando o equilíbrio translacional da escada, temos:

$$\begin{cases} x : fat = FN1 \\ y : FN2 = P \end{cases}$$

iii) Perceba que a barra está em equilíbrio rotacional, ou seja, o torque ($\vec{\tau}$) resultante sobre ela é zero. Baseado nisso e utilizando os sentidos adotados como positivo e negativo no passo i) para a rotação da escada, temos:

$$\tau = P\cdot\left(\frac{5\sqrt{2}}{2}\right) + fat\cdot\left(\frac{10\sqrt{2}}{2}\right) - FN2\left(2\cdot\frac{5\sqrt{2}}{2}\right) \rightarrow$$

$$\tau = 0\ (\text{Equilíbrio Rotacional}) \rightarrow \begin{cases} fat = \mu\cdot FN2 \\ FN2 = P \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} fat = \mu\cdot P \rightarrow 0 = P\left(\frac{5\sqrt{2}}{2}\right) + \mu\cdot P\left(\frac{10\sqrt{2}}{2}\right) - P\left(\frac{10\sqrt{2}}{2}\right) \rightarrow \\ FN2 = P \end{cases}$$

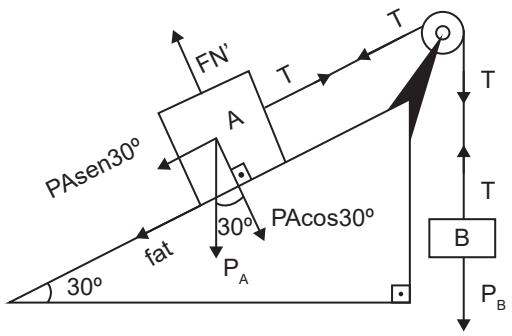
$$\rightarrow 0 = 5 + 10\mu - 10 \rightarrow 10\mu = 5$$

$$\rightarrow \boxed{\mu = 0,5}$$ coeficiente de atrito estático entre a escada e o solo

Resposta: D

07.

i) Desenhando as forças que mantêm o sistema em equilíbrio, temos:



ii) Analisando o equilíbrio no bloco B:

$$T = PB \rightarrow PB = mB\cdot g \rightarrow T = mB\cdot g \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} mB = 2kg \rightarrow T = 2\cdot 10 \rightarrow \boxed{T = 20N} \\ g = 10\ m/s^2 \end{cases}$$

iii) Ao analisar as forças que equilibram o bloco A, temos:
$PA\text{sen}30^\circ = mA \cdot g \cdot \text{sen}30^\circ$

$$\begin{cases} mA = 3kg \\ g = 10\ m/s^2 \\ \text{sen}30^\circ = 0,5 \end{cases} \rightarrow PA\text{sen}30^\circ = 3 \cdot 10 \cdot 0,5 \rightarrow \boxed{PA}$$

iv) Perceba que T > PAsen30º, ou seja, para que o bloco A permaneça em equilíbrio, é necessário que o vetor fat tenha mesma direção e sentido que o vetor PAsen30º para que a soma desses dois vetores anule o vetor T e, dessa maneira, o bloco A permaneça em equilíbrio. Baseado nisso, temos:

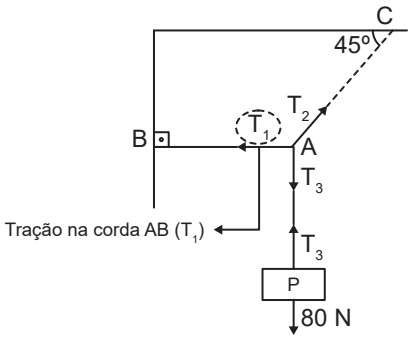
$PA\text{sen}30^\circ + fat = T \rightarrow$

$$\begin{cases} PA\text{sen}30^\circ = 15N \rightarrow 15N + fat = 20N \rightarrow \boxed{fat = 5N} \\ T = 20N \end{cases}$$

Resposta: C

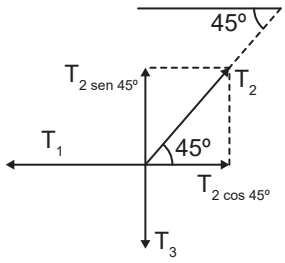
08.

I) Utilizando a figura e os valores fornecidos pelo enunciado, podemos desenhar as forças que equilibram o sistema. Logo, temos a seguinte situação:



ii) Analisando o equilíbrio presente no corpo P, temos que $\boxed{T3 = 80N}$

iii) Analisando o equilíbrio no ponto A, temos:



- $T2\,\text{sen}\,45^\circ = T3 \rightarrow T2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 80N \rightarrow T2\sqrt{2} = 80 \cdot 2N$

$\rightarrow 2 = \left(\sqrt{2}\right)^2 \rightarrow T2\sqrt{2} = 80\left(\sqrt{2}\right)^2 N \rightarrow \boxed{T2 = 80\sqrt{2}\,N}$

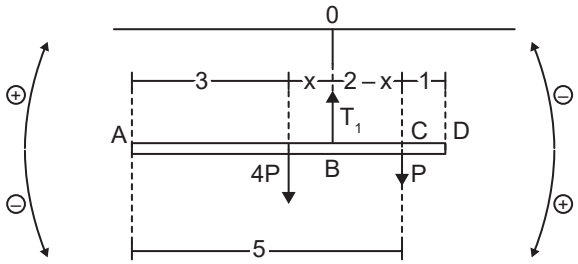
- $T1 = T2\,\text{sen}45^\circ \rightarrow T1 = 80\sqrt{2} \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) N \rightarrow T1 = 80 \cdot \left(\frac{2}{2}\right) N$

$\rightarrow \boxed{T1 = 80N}$ Tração na corda AB

Resposta: A

09.

i) Adotando o ponto B como polo (ponto o qual as forças giram livremente em torno) e desenhando as forças que atuam na barra, temos:



ii) Perceba que a barra está em equilíbrio translacional e rotacional. Como o ponto B foi adotado para ser o polo, implica que a Tração T1, em relação ao ponto B, não realiza torque, pois ela está localizada nesse ponto. Baseado nisso, podemos utilizar a equação do equilíbrio rotacional para encontrar o valor de **x** e, consequentemente, o valor da distância do ponto A ao ponto B.

iii) A barra está em equilíbrio rotacional, logo o Torque (τ) resultante sobre ela é zero. Baseado nisso e utilizando os sentidos adotados como positivo e negativo no passo i) para a rotação da barra, temos que:

$\tau = P(2-x) - 4P \cdot x \rightarrow \tau = 0$ (Equilíbrio Rotacional) $\rightarrow$

$\rightarrow 0 = P(2-x) - 4Px$

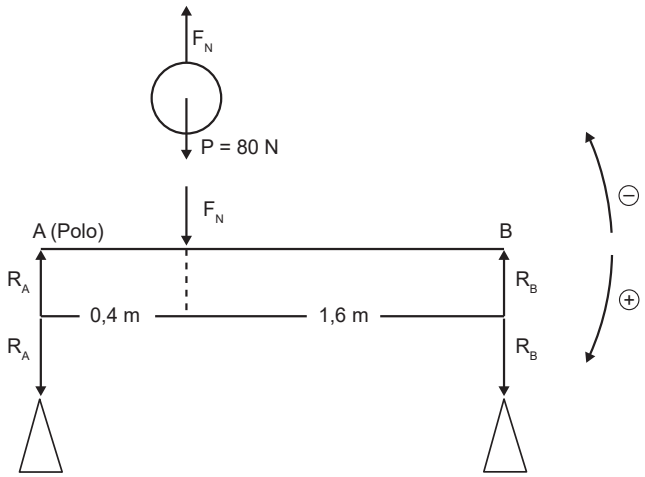
$\rightarrow 4\cancel{P}x = \cancel{P}(2-x) \rightarrow 4x = 2 - x \rightarrow 5x = 2 \rightarrow \boxed{x = 0,4\ m}$

iv) De acordo com a figura do passo i), a distância do ponto A ao ponto B é AB = 3 + x, logo utilizando o resultado obtido no passo iii), temos que $\boxed{AB = 3,4\ m}$

Resposta: D

10.

i) Utilizando as informações fornecidas pelo enunciado e desenhando as forças que atuam nos corpos, temos:



iii) Perceba que a esfera está em equilíbrio estático, logo é possível concluir que $\boxed{FN = 80\ N}$

iv) A barra está em equilíbrio rotacional, logo o Torque (τ) resultante sobre ela é zero. Baseado nisso e utilizando os sentidos adotados como positivo e negativo no passo i) para a rotação, temos que:

$\tau = FN \cdot 0,4 - RB \cdot 2 \rightarrow \tau = 0 (\text{Equilíbrio Rotacional}) \rightarrow$
$\rightarrow 0 = FN \cdot 0,4 - RB \cdot 2 \rightarrow 2 \cdot RB = 0,4 \cdot FN$

$\rightarrow FN = 80N \rightarrow 2 \cdot RB = 80 \cdot 0,4 \rightarrow RB \cdot 2 = 32 \rightarrow RB = 16\ N \rightarrow$
$\rightarrow \boxed{RB = 1,6 \cdot 10N}$
Reação que ocorre no conf. no ponto B

Resposta: C

11.

i) Baseado no desenho fornecido peloenunciado e utilizando os valores fornecidos pelo enunciado, temos a seguinte situação de equilíbrio estático:

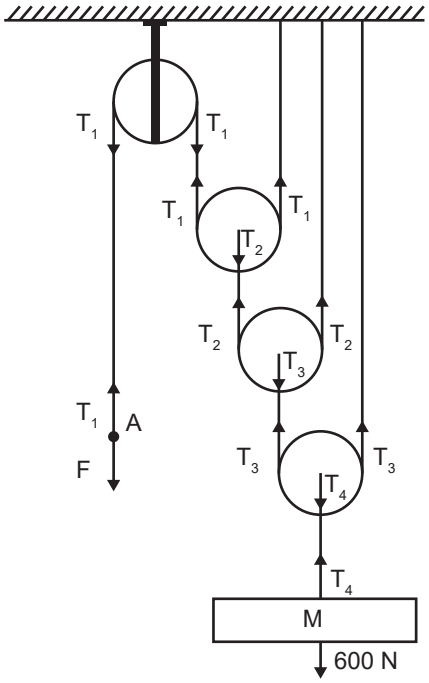
- Analisando o equilíbrio nas polias, temos as seguintes equações:

$$\begin{cases} T_2 = 2T_1 \ (1) \\ T_3 = 2T_2 \ (2) \\ T_4 = 2T_3 \ (3) \end{cases}$$

- Substituindo a expressão (1) em (2) e, consequentemente, substituindo a nova expressão em (3):

$T_3 = 2T_2 \rightarrow T_3 = 2(2T_1) \rightarrow \boxed{T_3 = 4T_1}$ Nova expressão

$\rightarrow T_4 = 2T_3 \rightarrow T_4 = 2(4T_1) \rightarrow \boxed{T_4 = 8T_1}\ (4)$



ii) Analisando o equilíbrio da caixa de massa M e utilizando a expressão (4), temos:

$T_4 = 600\ N \xrightarrow{(4)} 8T_1 = 600\ N \rightarrow \boxed{T_1 = 75\ N}\ (5)$

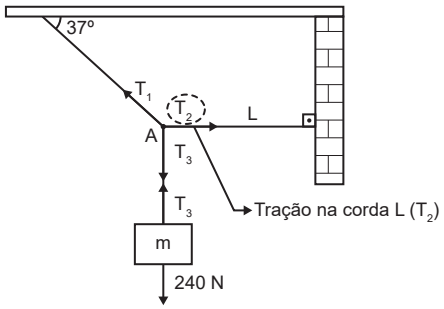
iii) Para que o ponto A permaneça em equilíbrio, é necessário que T1 = F. Logo, baseado nisso e no valor da expressão (5), temos que:

$T_1 = F \rightarrow T_1 = 75\ N \rightarrow \boxed{F = 75\ N}$

Resposta: C

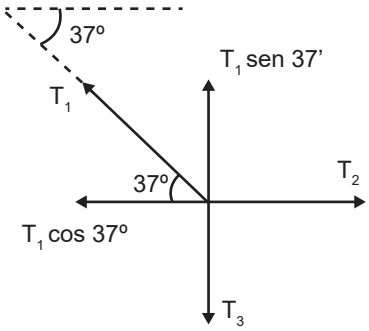
12.

i) Utilizando a figura e os valores fornecidos pelo enunciado, podemos desenhar as forças que equilibram o sistema. Logo, temos a seguinte situação:



ii) Analisando o equilíbrio do bloco de massa **m**, é possível concluir que $\boxed{T3 = 240\ N}$

iii) Analisando o equilíbrio no ponto A, temos que:



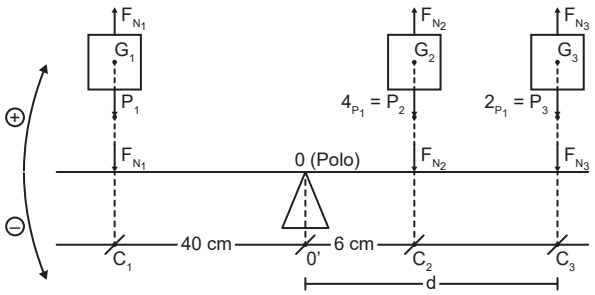
- $T1\ \text{sen}37° = T3 \rightarrow \begin{cases} T3 = 240\ N \rightarrow T1 \cdot 0,6 = 240N \rightarrow \boxed{T1 = 400\ N} \\ \text{sen}\,37° = 0,6 \end{cases}$

- $T2 = T1 \cos 37° \rightarrow T2 = 400 \cdot 0,8 \rightarrow \boxed{T2 = 320\ N}$
Tração na corda L

Resposta: E

13.

i) Utilizando as informações fornecidas pelo enunciado e desenhando as forças que atuam nos corpos, temos:



ii) Perceba que os cubos estão em equilíbrio estático, logo é possível concluir que
$\boxed{FN1 = P1}$; $\boxed{FN2 = 4P1}$ e $\boxed{FN3 = 2P1}$

iii) A barra está em equilíbrio rotacional, logo o Torque ($\mathcal{T}$) resultante sobre ela é zero. Baseado nisso, utilizando os sentidos adotados como positivo e negativo no passo i) para rotação e adotando o ponto 0 como polo, temos que:

$$\tau = FN2\cdot(6\text{ cm}) + FN3\cdot d - FN1\cdot(40\text{ cm}) \rightarrow$$

$$\tau = 0 (\text{Equilíbrio Rotacional}) \rightarrow \begin{cases} FN1 = P1 \\ FN2 = 4P1 \\ FN3 = 2P1 \end{cases}$$

$$\rightarrow 0 = 4\cancel{P1}(6\text{ cm}) + 2\cancel{P1}\cdot d - \cancel{P1}\cdot(40\text{ cm}) \rightarrow$$

$$\rightarrow 0 = 4\cdot(6\text{ cm}) + 2d - 40\text{ cm}$$

$$\rightarrow 0 = 24\text{ cm} + 2d - 40\text{ cm} \rightarrow 2d = 16\text{ cm} \rightarrow \boxed{d = 8\text{ cm}}$$

Distância entre os pontos 0' e C3

Resposta: C

14.

i) De acordo com o enunciado, temos os seguintes dados:

$$\bullet\ \text{Terra}: \begin{cases} \text{Massa} = M \\ \text{Raio} = R \end{cases} \qquad \bullet\ \text{Marte}: \begin{cases} \text{Massa} = \dfrac{M}{10} = (0,1)M \\ \text{Raio} = \dfrac{R}{2} = (0,5)R \end{cases}$$

ii) Seja F a força de atração gravitacional entre o astronauta e a Terra, temos:

$$F = \frac{GM_{Terra}\cdot M_{Astronauta}}{(\text{Distância})^2} \rightarrow F = \frac{GMm}{R^2} \rightarrow F = 700\text{ N (Enunciado)}$$

$$\rightarrow \boxed{700\text{ N} = \frac{GMm}{R^2}}\ (1)$$

iii) Seja F' a força de atração gravitacional entre o astronauta e Marte, temos:

$$F' = \frac{GM_{Marte}\cdot M_{Astronauta}}{(\text{Distância})^2} \rightarrow F' = \frac{G\left(\frac{M}{10}\right)m}{\left(\frac{R}{2}\right)^2} \rightarrow$$

$$F' = \left(\frac{1}{10}\right)\frac{GMm}{\left(\frac{R^2}{4}\right)} \rightarrow \boxed{F' = \left(\frac{4}{10}\right)\frac{GMm}{R^2}}\ (2)$$

iv) Substituindo (1) em (2):

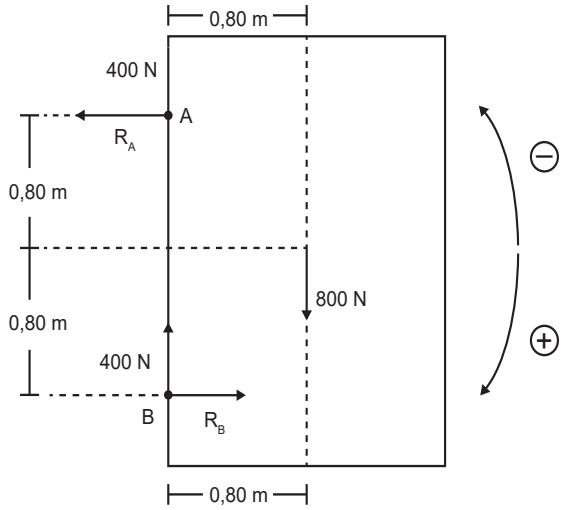
$$F' = \left(\frac{4}{10}\right)\frac{GMm}{R^2} \rightarrow F' = \left(\frac{4}{10}\right)\cdot 700\text{ N} \rightarrow \boxed{F' = 280\text{ N}}$$

A força de atração gravitacional entre o astronauta e Marte é 280 N

Resposta: B

15.

i) Utilizando as informações fornecidas pelo enunciado e desenhando as forças que atuam no portão, temos:



- Perceba que, para que o portão permaneça em equilíbrio translacional, é necessário que a componente horizontal da força de cada dobradiça possua a mesma direção, mesma direção, mesmo módulo (RA = RB) e sentidos opostos.

ii) Adotando o ponto A para ser o polo, implica que as forças que estão nesse ponto, em relação a ele, não realizam torque. Baseado nisso, podemos utilizar a equação do equilíbrio rotacional para encontrar o valor de RB e, consequentemente, o valor de RA.

iii) Perceba que a força de intensidade de 400 N que está no ponto B não realiza torque no portão em relação ao ponto A, pois o ângulo entre essa força e o braço dela $(\overline{AB})$ é zero grau e, de acordo com a expressão geral do torque $(\tau = F\cdot d\cdot \text{sen}\theta)$, o torque é zero porque sen θ de zero grau é zero.

iv) O portão está em equilíbrio rotacional, logo o torque ($\mathcal{T}$) resultante sobre ela é zero. Baseado nisso, utilizando os sentidos adotados com positivo e negativo no passo i) para a rotação do portão e utilizando as informações dos passos ii) e iii), temos:

$$\tau = 800\cdot(0,80) - RB(1,6) \rightarrow \tau = 0$$

$$\rightarrow 0 = 800\cdot(0,80) - RB\cdot(1,6) \rightarrow \boxed{RB = 400\text{ N}}$$

v) Baseado na expressão (1), temos que

$\boxed{RA = RB = 400\text{ N}}$ Módulo da componente horizontal da força em cada dobradiça A e B.

Resposta: C

045.753 - 160523/22
DIG.: ZILMAR – REV.: ALEXANDRE